



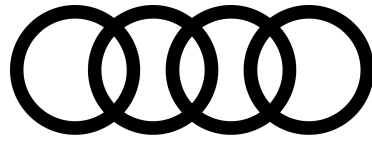
Technische Universität Dresden

Fachpraktikumsbericht

Mobiles Laden am Straßenrand

Gregor Siefert

Dresden, 9. Dezember 2025



Vertraulicher Bericht

Geheimhaltungsvermerk

Der vorliegende Bericht enthält vertrauliche Informationen
der AUDI AG.

Jegliche Weitergabe, Vervielfältigung oder Verwendung der
enthaltenen Daten
und Konzepte – auch in Auszügen – ist ohne ausdrückliche
schriftliche Zustimmung der AUDI AG untersagt.

Eine Einsichtnahme ist ausschließlich autorisierten Personen
gestattet.

Bei Verstoß gegen diese Vertraulichkeitsvereinbarung können
zivil- und strafrechtliche Konsequenzen folgen.

Ort, Datum

Unterschrift Verfasser

Ort, Datum

Unterschrift Kontrolleur

Aufgabenstellung

Das Praktikum dient dazu Überschussladen für Kunden in urbanen Räumen bestens zu ermöglichen. Dafür ist eine Einarbeitung in das Thema notwendig, die eine Marktrecherche und Überprüfung der Kundenanforderung beinhaltet. Darauf aufbauend soll ein Lösungsansatz aufgestellt werden, der grundlegenden Ideen für eine Ladesäule und ein Produktkonzept für Premium Kabelhandling enthält. Dieses Produktkonzept soll im Weiteren zu einer Technischen Lösung verarbeitet werden, mithilfe derer ein Prototyp gebaut werden kann. Dies ist zu wiederholen, bis eine Serienentwicklungsreife erreicht ist. Während dieser Entwicklung ein Projektplan mit regelmäßigen Berichten und eine Abschlusspräsentation inkl. funktionierendem Prototypen gefordert.

Abstract

Der vorliegende Praktikumsbericht beschäftigt sich mit der Entwicklung eines innovativen Mode-3-Kabels für das mobile Laden von Elektrofahrzeugen am Straßenrand. Ziel der Arbeit war es, eine benutzerfreundliche und technisch ausgereifte Lösung zu entwickeln, die den Anforderungen von Premium-Kunden gerecht wird. Dazu wurden verschiedene Prototypen entworfen, getestet und optimiert, wobei der Fokus auf der Verbesserung der Handhabung, der Reduzierung von Gewicht und Größe sowie der Integration von moderner Elektronik lag. Der dritte und finale Prototyp kombiniert Designflächen mit einer verbesserten Akustik und einer unterstützenden Lichtinszenierung in einer funktionalen Lösung. Die Ergebnisse zeigen, dass die entwickelte Lösung das Potenzial hat, die Nutzerfreundlichkeit von Elektrofahrzeugen zu steigern und einen Beitrag zur nachhaltigen Mobilität zu leisten. 07.12.2025

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Stand der Technik	4
2.1	Ladeinfrastruktur	4
2.1.1	Automatisches Laden	5
2.2	Ladezubehör	6
2.2.1	Mode-3-Kabel	6
2.2.2	Weitere Zubehörteile	8
3	Präzisierung der Aufgabenstellung	8
3.1	Kritische Anforderungen	9
3.2	Zielsetzung	9
4	Theoretische Untersuchungen	10
4.1	Thermische Berechnungen	10
4.1.1	Verlustleistung im Kabel	10
4.1.2	Temperaturerhöhung der Kabeloberfläche	10
4.1.3	Gehäusetemperatur bei perforierter Oberfläche	10
4.1.4	Bewertung der Ergebnisse	10
4.2	Überlegungen zum Nutzen eines Schleifkontakts	18
4.2.1	Erklärung	18
4.2.2	Vorteile	20
4.2.3	Nachteile	20
4.2.4	Endbeschluss	20
4.3	Vergleich von Aufrollmechanismen	20
4.3.1	Aufrollen per Hand	20
4.3.2	Aufrollen durch Federkraft	20
4.3.3	Aufrollen durch Motor	21
4.3.4	Entschluss	21
4.4	Position des Aufrollers im gesteckten Zustand	21
4.4.1	Mechanische Belastung der Ladebuchsen	21
4.4.2	Alternative Lösungen	22
4.4.3	Anordnungen des Aufrollers	22
4.4.4	Probleme bei bestimmten Ladestationen	23
4.4.5	Überprüfung der Anordnungen	23
4.4.6	Entschluss	24
5	Experimentelle Untersuchungen	24
5.1	Erster Prototyp	24
5.1.1	Erste Tests	25
5.1.2	Verbesserungen	25
5.1.3	Erkenntnisse	26
5.2	Zweiter Prototyp	26
5.2.1	Aufbau des zweiten Prototyps	27
5.2.2	Erkenntnisse	29
5.3	Dritter Prototyp	30
5.3.1	Aufbau des dritten Prototyps	31

5.3.2	Einrastmechanismen	31
5.3.3	Elektronik und Design	32
5.3.4	Verbesserte Verzahnung	33
5.3.5	Griffoptimierung	34
5.3.6	Erkenntnisse	34
6	Gesamtzusammenfassung und Ausblick	36
6.1	Weiteres Vorgehen	36

1 Einleitung

Die Einführung von Elektrofahrzeugen (EVs) stellt einen zentralen Baustein der nachhaltigen Mobilitätswende dar. Dennoch bleibt die Akzeptanz von EVs bei vielen potenziellen Käufern aufgrund von Herausforderungen im Bereich der Ladeinfrastruktur begrenzt. Die derzeitige Situation des öffentlichen Ladens ist oftmals umständlich und wenig benutzerfreundlich, was viele Verbraucher davon abhält, auf Elektromobilität umzusteigen. Diese Problematik bildet die Motivation für die vorliegende Arbeit, die im Rahmen eines Fachpraktikums bei der AUDI AG durchgeführt wurde.

Ziel der Arbeit ist es, die aktuelle Ladeinfrastruktur zu analysieren und mögliche Verbesserungsansätze zu identifizieren, um Kunden den Umstieg auf Elektrofahrzeuge zu erleichtern. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Förderung intelligenter Ladefunktionen, wie beispielsweise dem Überschussladen, bei dem überschüssige Energie aus erneuerbaren Quellen genutzt wird. Durch die Entwicklung eines benutzerfreundlichen Ladeaccessoires soll ein Beitrag zur Vereinfachung des Ladevorgangs und zur Steigerung der Attraktivität von Elektrofahrzeugen geleistet werden.

Die Arbeit ist in das Fachgebiet der nachhaltigen Mobilität und Energiesysteme einzuordnen. Die Ergebnisse dieser Arbeit können Audi von Nutzen sein, da sie Einblicke in die aktuellen Herausforderungen der Ladeinfrastruktur liefern und konkrete Lösungsansätze aufzeigen. Mit der möglichen Produktlösung kann Audi dazu Vorreiter im Thema Öffentliches Laden werden.

2 Stand der Technik

In diesem Abschnitt wird der aktuelle Stand der Technik in den Bereichen Ladeinfrastruktur und Ladezubehör erläutert. Dabei liegt der Fokus auf den technischen Merkmalen, Herausforderungen und verfügbaren Lösungen.

2.1 Ladeinfrastruktur

Die Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge ist ein zentraler Bestandteil der Elektromobilität. Sie lässt sich grob in zwei Kategorien unterteilen: Gleichstrom-Ladestationen (DC) und Wechselstrom-Ladestationen (AC).

- **DC-Ladestationen:** Diese Stationen bieten eine schnelle Ladeleistung und sind in der Regel mit einem fest angebrachten Ladekabel ausgestattet. Sie eignen sich besonders für lange Strecken und kurze Ladestopps.
- **AC-Ladestationen:** Im Gegensatz zu DC-Ladestationen verfügen AC-Ladestationen oft über kein fest angebrachtes Ladekabel. Stattdessen muss der Nutzer ein eigenes Mode-3-Kabel mitbringen. Diese Stationen sind weit verbreitet und eignen sich für das Laden zu Hause oder am Arbeitsplatz.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Ladeinfrastruktur ist die Authentifizierung. In den meisten Fällen ist eine Ladekarte erforderlich, die mit der jeweiligen Ladestation kompatibel ist. Eine vereinfachte Alternative ist das **Plug&Charge**-Verfahren, bei dem das

Fahrzeug automatisch mit der Ladestation kommuniziert und den Ladevorgang startet, sobald das Kabel eingesteckt wird. Dies erhöht die Benutzerfreundlichkeit erheblich.

Ein globales Problem ist die Vielfalt der Ladestandards. Während in Europa der **CCS**-Standard (Combined Charging System) dominiert, werden in Asien und Nordamerika andere Standards wie **CHAdMO** oder **Tesla Supercharger** verwendet. Diese Unterschiede erschweren die Entwicklung einer universellen Ladelösung.

2.1.1 Automatisches Laden

Lösungen für das automatische Laden gibt es in induktiver und induktiver Form. Zum heutigen Stand gibt es noch keinen Standard, der sich durchgesetzt hat, aber verschiedene Anbieter probieren ihre Lösungen auf den Markt zu bringen.

- **Konduktive Lösungen:** Diese gibt es in der Form von Steckern, die von der Unterseite des Autos auf eine Platte auf dem Boden gedrückt werden, oder Laderobotern, die seitlich oder unter dem Auto einen Stecker in das Auto einführen. Diese Laderoboter haben je nach Ausführung feste Verbindungen zum Stromnetz oder einen eingebauten Akku.



Abbildung 1: Ladeplatte mit autoseitigem Stecker (Quelle: (ENBW 2025a))



Abbildung 2: Laderoboter mit fester Verbindung zum Stromnetz (Quelle: (Graz 2025))



Abbildung 3: Laderoboter mit extra Batterie (Quelle: (AG 2025))

- **Induktive Lösungen:** Diese sind meist unter dem Auto vorgesehen.



Abbildung 4: Induktives Laden (Quelle: (ENBW 2025b))

Wichtige Punkte für diese Lösungen für das automatische Laden sind, ob ein oder mehrere Parkplätze bedient werden können und ob wegen notwendiger Hardware nur bestimmte Autos bedient werden können.

2.2 Ladezubehör

Das Ladezubehör spielt eine entscheidende Rolle bei der Nutzerfreundlichkeit von Elektrofahrzeuge. Im Folgenden wird der Fokus auf Mode-3-Kabel und weitere Zubehörteile gelegt.

2.2.1 Mode-3-Kabel

Mode-3-Kabel sind ein wesentlicher Bestandteil der Ladeinfrastruktur und in verschiedenen Ausführungen erhältlich (Preise sind hierbei für 5m, 11kW aus Internetrecherche):

- **Normales Kabel:** Ein Standardkabel ohne besondere Funktionen. Es ist robust und kostengünstig, kann jedoch unhandlich sein.



Abbildung 5: Normales Mode-3-Kabel (Quelle: (Amazon 2025a), Preis: 65€-110€)

- **Spiralkabel:** Diese Kabel sind flexibler und nehmen weniger Platz ein, da sie sich nach Gebrauch zusammenziehen.



Abbildung 6: Spiralkabel (Quelle: (Amazon 2025b), Preis: 120€-165€)

- **Selbst ordnende Kabel:** Diese Kabel verfügen über eine integrierte Mechanik, die das Aufrollen erleichtert.



Abbildung 7: Selbst ordnendes Mode-3-Kabel (Quelle: (LappMobility 2025), Preis: 225,95€)

- **Stationäre Aufroller mit Torsionsfeder:** Diese Systeme sind fest installiert und ermöglichen ein einfaches Aufrollen des Kabels.



Abbildung 8: Stationärer Aufroller mit Torsionsfeder (Quelle: (Voitas 2025), Preis: 500€)

- **Mobile Aufroller mit Handaufrollen:** Diese Aufroller sind tragbar und erfordern manuelles Aufrollen des Kabels.



Abbildung 9: Mobiler Aufroller mit Handaufrollen (Quelle: (Reichelt 2025), Preis: 97€)

- **Mobile Aufroller mit Torsionsfeder:** Diese Aufroller sind ebenfalls tragbar, verfügen jedoch über eine Feder, die das Aufrollen automatisch unterstützt.



Abbildung 10: Mobiler Aufroller mit Torsionsfeder (Quelle: (EasyLoop 2025), Preis: 470€)

2.2.2 Weitere Zubehörteile

Neben Mode-3-Kabeln gibt es weitere nützliche Zubehörteile, die die Nutzung von Elektrofahrzeugen erleichtern:

- **V2L-Adapter:** Diese Adapter ermöglichen es, das Elektrofahrzeug als Energiequelle für externe Geräte zu nutzen (Vehicle-to-Load).
- **Taschen für Ladekabel:** Praktische Taschen, um das Ladekabel sicher und ordentlich zu transportieren.

3 Präzisierung der Aufgabenstellung

Das Praktikum hatte ursprünglich das Ziel, das **Überschussladen** für Kunden in urbanen Räumen zu optimieren. Nach einer umfassenden Recherche zum Stand der Technik wurde jedoch festgestellt, dass die Entwicklung von Ladesäulen bereits ein hohes Maß an Reife erreicht hat. Da es sich hierbei um ein preissensitives Geschäft handelt, sind Premium-Margen nur unter bestimmten Umständen vertretbar. Eine mögliche Innovation, wie das **automatische Laden**, wurde ebenfalls untersucht. Diese Lösung würde Synergien mit

automatischem Einparken oder sogar autonomem Fahren bieten. Allerdings wird bei der AUDI AG bereits an einer solchen Lösung gearbeitet.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde der Fokus des Praktikums auf die Entwicklung eines **innovativen Mode-3-Kabels** gelegt. Das Ziel ist es, ein Konzept zu entwickeln, das die Serienentwicklung übernehmen kann. Die genaue Form der Lösung war zu Beginn des Praktikums noch relativ undefiniert, sollte sich jedoch im Laufe der Entwicklung durch die Evaluierung möglicher Lösungsansätze konkretisieren.

3.1 Kritische Anforderungen

Folgende kritische Punkte wurden bereits zu Beginn des Praktikums identifiziert und bilden die Grundlage für die Konzeptentwicklung:

- **Aufrollmechanismus:** Es muss entschieden werden, ob das Kabel manuell, durch eine Feder oder elektrisch aufgewickelt wird.
- **Schleifring:** Die Integration eines Schleifrings könnte eine kontinuierliche Stromübertragung während des Aufrollens ermöglichen, stellt jedoch eine technische Herausforderung dar.
- **Griffposition:** Die ergonomische Gestaltung des Griffs ist entscheidend für die Benutzerfreundlichkeit.
- **Platzierung des Aufrollers im gesteckten Zustand:** Die Positionierung des Aufrollers muss so gestaltet sein, dass sie den Ladevorgang nicht beeinträchtigt und gleichzeitig platzsparend ist.

3.2 Zielsetzung

Das übergeordnete Ziel des Praktikums ist die Entwicklung eines **innovativen Mode-3-Kabels**, das folgende Anforderungen erfüllt:

- Hohe Benutzerfreundlichkeit durch intuitive Handhabung.
- Robustheit und Langlebigkeit für den Einsatz im öffentlichen Raum.
- Integration innovativer Technologien, wie z. B. eines elektrischen Aufrollmechanismus oder eines Schleifrings.
- Kompatibilität mit bestehenden Ladeinfrastrukturen und Fahrzeugen.

Das entwickelte Konzept soll so weit ausgearbeitet werden, dass es die Grundlage für die Serienentwicklung bilden kann. Dabei sind regelmäßige Berichte, ein detaillierter Projektplan und eine abschließende Präsentation inklusive eines funktionierenden Prototyps erforderlich.

4 Theoretische Untersuchungen

4.1 Thermische Berechnungen

Alle Berechnungen wurden in **Calcpad** programmiert, wodurch die Möglichkeit besteht, unterschiedliche Parameter flexibel anzupassen. Die hier gezeigten Ergebnisse basieren jedoch auf einem **11-kW-5-m-Kabel**, da dies in der finalen Lösung verwendet wurde. Berechnungen folgen unter den Ergebnissen.

4.1.1 Verlustleistung im Kabel

Als erstes wurde die **Verlustleistung** in den 5 Metern Kabel berechnet. Diese ergab sich zu:

$$P_{\text{Verlust}} = 26,48 \text{ W}$$

Diese Verlustleistung entsteht durch den ohmschen Widerstand des Kabels und führt zu einer Erwärmung während des Ladevorgangs.

4.1.2 Temperaturerhöhung der Kabeloberfläche

Anschließend wurde die **Temperaturerhöhung** der Kabeloberfläche berechnet. Dabei wurde zunächst angenommen, dass die Wärme ausschließlich durch die offene Außenoberfläche des Aufrollers abgeführt wird. Unter dieser Annahme ergab sich eine Temperaturerhöhung von:

$$\Delta T_{\text{außen}} = 46 \text{ K}$$

Bei Berücksichtigung der geschlossenen Seitenwände des Aufrollers verringerte sich die Temperaturerhöhung auf:

$$\Delta T_{\text{außen+seite}} = 36 \text{ K}$$

4.1.3 Gehäusetemperatur bei perforierter Oberfläche

Um die thermische Belastung weiter zu reduzieren, wurde die Gehäusetemperatur bei einer **perforierten Oberfläche** berechnet. Bei maximaler Belüftung ergab sich eine Temperaturerhöhung von nur:

$$\Delta T_{\text{gehäuse}} = 5 \text{ K}$$

4.1.4 Bewertung der Ergebnisse

Die berechneten Größenordnungen deuten darauf hin, dass die thermische Belastung des Kabels **bewältigbar** ist. Obwohl die Berechnungen aufgrund grober Annahmen und vernachlässigter Außenparameter (wie Umgebungstemperatur und Luftströmung) nicht exakt sind, zeigen sie, dass die Wärmeentwicklung kein Ausschlusskriterium darstellt. Diese Einschätzung wurde durch die Existenz vergleichbarer Produkte auf dem Markt bestätigt, die mit thermischen Abschaltungen werben, um eine sichere Betriebstemperatur zu gewährleisten.

Die Ergebnisse der thermischen Berechnungen bildeten somit eine wichtige Grundlage für die Entscheidung, das Konzept weiterzuverfolgen.

Thermische Berechnungen

Konstanten:

Stefan-Boltzmann'sche Strahlungskonstante

$$C_S = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

Elektrische Leitfähigkeit Kupfer:

$$k_{\text{CU}} = 5.8 \cdot 10^7 \frac{\text{S}}{\text{m}} = 58000000 \text{ S/m}$$

Wärmeleitfähigkeiten

$$\lambda_p = 0.42 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} = 0.42 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) \text{ Plastikgehäuse, Polyethylen}$$

Spezifische Wärmekapazitäten

$$c_{\text{CU}} = 385 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 385 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \text{ Kupfer}$$

$$c_{\text{PI}} = 850 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 850 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \text{ Gummi, Polyvinylchlorid}$$

Emissionsgrade

$$\varepsilon_G = 0.9 \text{ Kabelummantelung}$$

$$\varepsilon_p = 0.9 \text{ Plastikgehäuse, Polyethylen}$$

Dichte Kupfer

$$\rho_{\text{CU}} = 8920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Wärmekonvektionskoeffizient

$$\alpha_{\text{KW}} = 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} = 5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \text{ Unbelüftet Worst-Case}$$

$$\alpha_{\text{KB}} = 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} = 10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \text{ Unbelüftet Best-Case}$$

Variablen:

Variablen des Kabels:

$$l_K = 5 \text{ m Länge des Kabels}$$

$$A_K = 2.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 2.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ Querschnitt der Leitungsstränge}$$

$$I_K = 16 \text{ A Strom pro Leitung, aus 11kW}$$

$$m_G = 0.307 \cdot l_K \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 0.307 \cdot 5 \text{ m} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 1.53 \text{ m} \cdot \text{kg/m} \text{ Gesamtmasse des Kabels}$$

$$m_{\text{CU}} = \rho_{\text{CU}} \cdot l_K \cdot (5 \cdot A_K + 0.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2) = 8920 \text{ kg/m}^3 \cdot 5 \text{ m} \cdot (5 \cdot 2.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 + 0.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2) = 0.58 \text{ kg} \text{ Masse Kupfer}$$

$$m_{\text{PI}} = m_G - m_{\text{CU}} = 1.53 \text{ m} \cdot \text{kg/m} - 0.58 \text{ kg} = 0.955 \text{ m} \cdot \text{kg/m} \text{ Masse Gummi}$$

Verlustleistung im Kabel

Versluste pro Leitung:

$$P_L = \frac{I_K^2 \cdot l_K}{k_{CU} \cdot A_K} = \frac{(16 \text{ A})^2 \cdot 5 \text{ m}}{58000000 \text{ S/m} \cdot 2.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 8.83 \text{ W}$$

Versluste Gesamt:

$$P_G = 3 \cdot P_L = 3 \cdot 8.83 \text{ W} = 26.48 \text{ W}$$

Erwärmung ohne Wärmeabfluss

$$t_{\text{laden}} = 1 \text{ h Ladedauer}$$

Temperaturerhöhung in der Ladedauer:

$$\Delta T = \frac{P_G \cdot t_{\text{laden}}}{m_{CU} \cdot c_{CU} + m_{PI} \cdot c_{PI}} = \frac{26.48 \text{ W} \cdot 1 \text{ h}}{0.58 \text{ kg} \cdot 385 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} + 0.955 \text{ m} \cdot \text{kg/m} \cdot 850 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}} = 92.1 \text{ K}$$

Stationäre Berechnung

$$T_0 = 25^\circ \text{C} = 298.15 \text{ K Außentemperatur}$$

$$C = m_{CU} \cdot c_{CU} + m_{PI} \cdot c_{PI} = 0.58 \text{ kg} \cdot 385 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} + 0.955 \text{ m} \cdot \text{kg/m} \cdot 850 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} = 1035.14 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2/\text{K}$$

Wärmekapazität der Kabelrolle

-----Offener Kabeltrommel Aufbau-----

Variablen der Rolle

$$D_R = 24 \text{ cm}$$

$$d_R = 13.5 \text{ cm}$$

$$b_R = 6.5 \text{ cm}$$

$$d_{WR} = 2 \text{ mm}$$

$$a_{1R} = b_R \cdot D_R \cdot \pi = 6.5 \text{ cm} \cdot 24 \text{ cm} \cdot 3.14 = 490.09 \text{ cm}^2$$

$$a_{2R} = \pi \cdot \left(\frac{d_R}{2} \right)^2 = 3.14 \cdot \left(\frac{13.5 \text{ cm}}{2} \right)^2 = 143.14 \text{ cm}^2$$

$$a_{3R} = \pi \cdot \left(\frac{D_R}{2} \right)^2 - a_{2R} = 3.14 \cdot \left(\frac{24 \text{ cm}}{2} \right)^2 - 143.14 \text{ cm}^2 = 309.25 \text{ cm}^2$$

Nur Kabeloberfläche:

Hierbei wird in dem aufgerolltem Kabeln eine gleichverteilte Temperatur angenommen und die Wärme

kann nur auf der offenen Kabeloberfläche austreten.

Positives: Ergibt leicht grobes Ergebnis des Problems und Kabeloberfläche wird definitiv diesen Wert nicht überschreiten

Negatives: Die Innere Temperatur der Kabel kann viel höher sein und Wärmeabfluss über die Seiten- und Innenfläche wird nicht betrachtet, dazu wird von einer offenen Kabeltrommel ausgegangen was nicht wirklich

Kabeltemperatur:

Worst-Case:

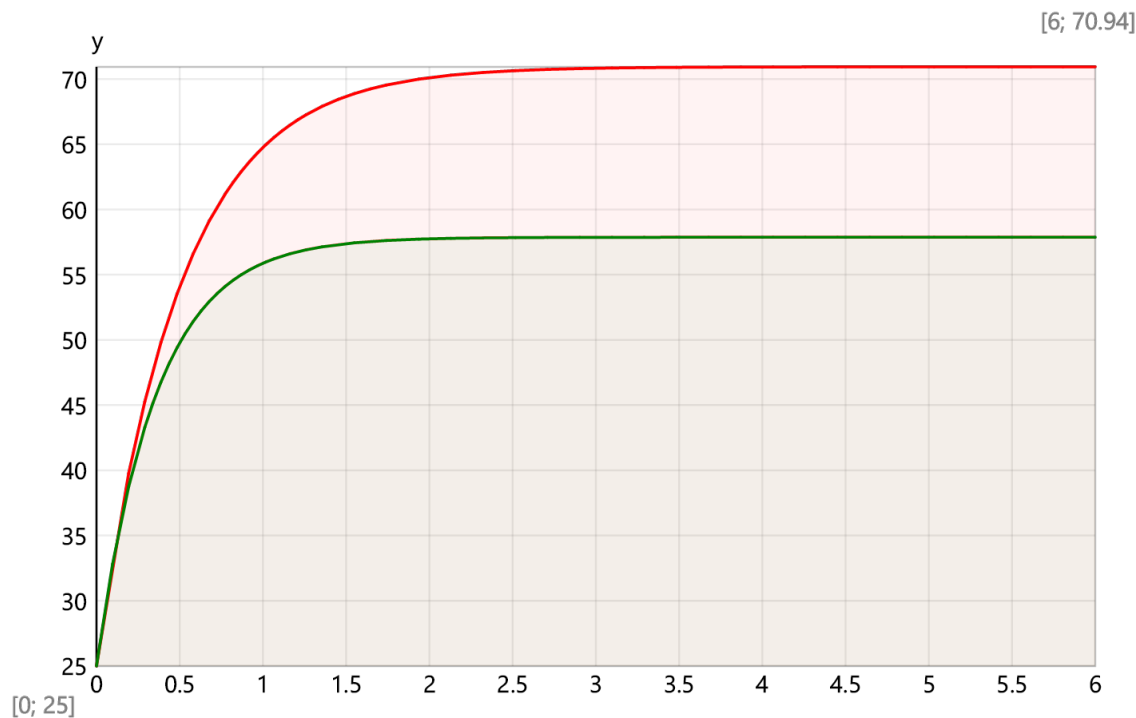
$$\Delta T_{Kw} = P_G \cdot R_{1w} = 26.48 \text{ W} \cdot 1.73 \text{ K/W} = 45.94 \text{ K}$$

$$T_{Kw} = \Delta T_{Kw} + T_0 = 45.94 \text{ K} + 298.15 \text{ K} = 70.94 \text{ °C}$$

Best-Case:

$$\Delta T_{Kb} = P_G \cdot R_{1b} = 26.48 \text{ W} \cdot 1.24 \text{ K/W} = 32.87 \text{ K}$$

$$T_{Kb} = \Delta T_{Kb} + T_0 = 32.87 \text{ K} + 298.15 \text{ K} = 57.87 \text{ °C}$$



y = Temperaturerhöhung in K, x = Zeit in Stunden

Mit Seitenwand:

Unter der Annahme, dass das Kabel direkt an der Innenwand liegt aber die Kontaktfläche vernachlässigbar ist

Positives: Ermöglicht eine genauere Berechnung der Kabeltemperatur und eine Annäherung der Wandtemperatur

Negatives: Die Konvektionsübertragung an der Außenwand ist vielleicht nicht in dem Ausmaß möglich, da nicht genug Platz ist, dazu wird die Wärmeleitung der anliegenden Kabeln vernachlässigt und die Wandtemperatur vielleicht untertrieben. Das innere Kabeltemperatur wird dazu immernoch nicht berechnet.

Kabeltemperatur:

Worst-Case:

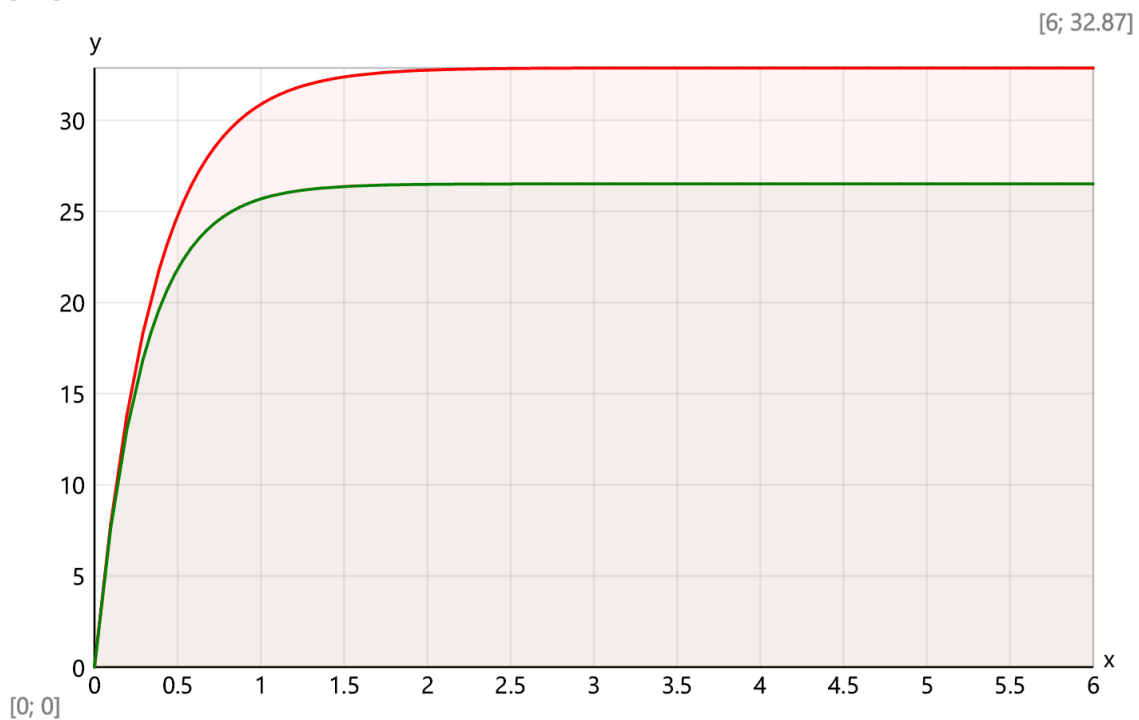
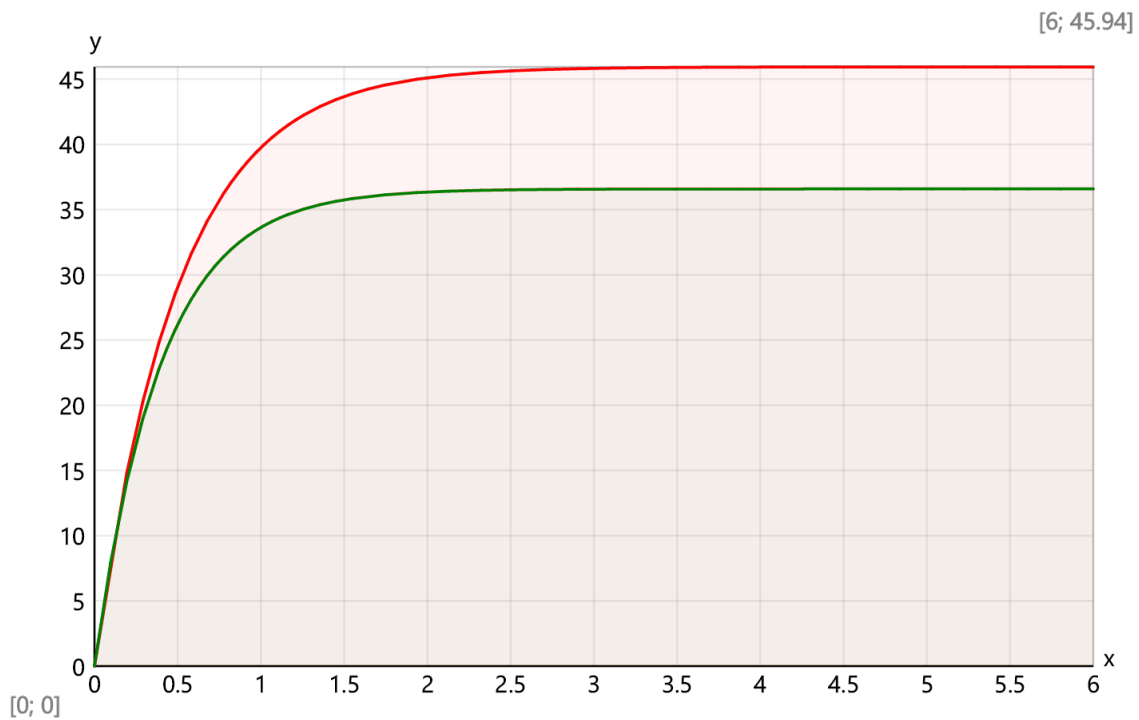
$$\Delta T_{K13w} = P_G \cdot R_{13w} = 26.48 \text{ W} \cdot 1.38 \text{ K/W} = 36.58 \text{ K}$$

$$T_{K13w} = \Delta T_{K13w} + T_0 = 36.58 \text{ K} + 298.15 \text{ K} = 61.58 \text{ °C}$$

Best-Case:

$$\Delta T_{K13b} = P_G \cdot R_{13b} = 26.48 \text{ W} \cdot 1 \text{ K/W} = 26.51 \text{ K}$$

$$T_{K13b} = \Delta T_{K13b} + T_0 = 26.51 \text{ K} + 298.15 \text{ K} = 51.51 \text{ °C}$$



y = Temperaturerhöhung in K, x = Zeit in Stunden

Außenwandtemperatur:

Worst-Case:

$$\Delta T_{\text{Waw}} = P_{3\text{w}} \cdot R_{\text{Waw}} = 5.39 \text{ W} \cdot 2.98 \text{ K/W} = 16.06 \text{ K}$$

$$T_{\text{Waw}} = \Delta T_{\text{Waw}} + T_0 = 16.06 \text{ K} + 298.15 \text{ K} = 41.06 \text{ °C}$$

Best-Case:

$$\Delta T_{\text{Wab}} = P_{3\text{b}} \cdot R_{\text{Wab}} = 5.13 \text{ W} \cdot 2.06 \text{ K/W} = 10.55 \text{ K}$$

$$T_{\text{Wab}} = \Delta T_{\text{Wab}} + T_0 = 10.55 \text{ K} + 298.15 \text{ K} = 35.55 \text{ °C}$$

Innenwandtemperatur:

Worst-Case:

$$\Delta T_{\text{Wiw}} = P_{3\text{w}} \cdot (R_{\text{Waw}} + R_{\text{WL}}) = 5.39 \text{ W} \cdot (2.98 \text{ K/W} + 0.154 \text{ K/W}) = 16.89 \text{ K}$$

$$T_{\text{Wiw}} = \Delta T_{\text{Wiw}} + T_0 = 16.89 \text{ K} + 298.15 \text{ K} = 41.89 \text{ °C}$$

Best-Case:

$$\Delta T_{\text{Wib}} = P_{3\text{b}} \cdot (R_{\text{Wab}} + R_{\text{WL}}) = 5.13 \text{ W} \cdot (2.06 \text{ K/W} + 0.154 \text{ K/W}) = 11.33 \text{ K}$$

$$T_{\text{Wib}} = \Delta T_{\text{Wib}} + T_0 = 11.33 \text{ K} + 298.15 \text{ K} = 36.33 \text{ °C}$$

-----Aufbau mit perforierter Oberfläche-----

Perforierung sollte gleichmäßig oben und unten vorhanden sein

Variablen der Rolle

$$D_{\text{p}} = 24 \text{ cm}$$

$$d_{\text{p}} = 13.5 \text{ cm}$$

$$b_{\text{p}} = 6.5 \text{ cm}$$

$$a_{1\text{p}} = \frac{b_{\text{p}} \cdot D_{\text{p}} \cdot \pi^2}{2} = \frac{6.5 \text{ cm} \cdot 24 \text{ cm} \cdot 3.14^2}{2} = 769.83 \text{ cm}^2$$

$$a_{2\text{p}} = \pi \cdot \left(\frac{d_{\text{p}}}{2}\right)^2 = 3.14 \cdot \left(\frac{13.5 \text{ cm}}{2}\right)^2 = 143.14 \text{ cm}^2$$

$$a_{3\text{p}} = \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{p}}}{2}\right)^2 - a_{2\text{p}} = 3.14 \cdot \left(\frac{24 \text{ cm}}{2}\right)^2 - 143.14 \text{ cm}^2 = 309.25 \text{ cm}^2$$

p_1 = 25 Prozent des Loch zu Materialverhältnisses von $a_{1\text{p}}$ (größer als 25 ist wirkungslos)

Oberflächentemperatur bei nur Perforierter Oberfläche

Oberflächentemperatur:

Worst-Case:

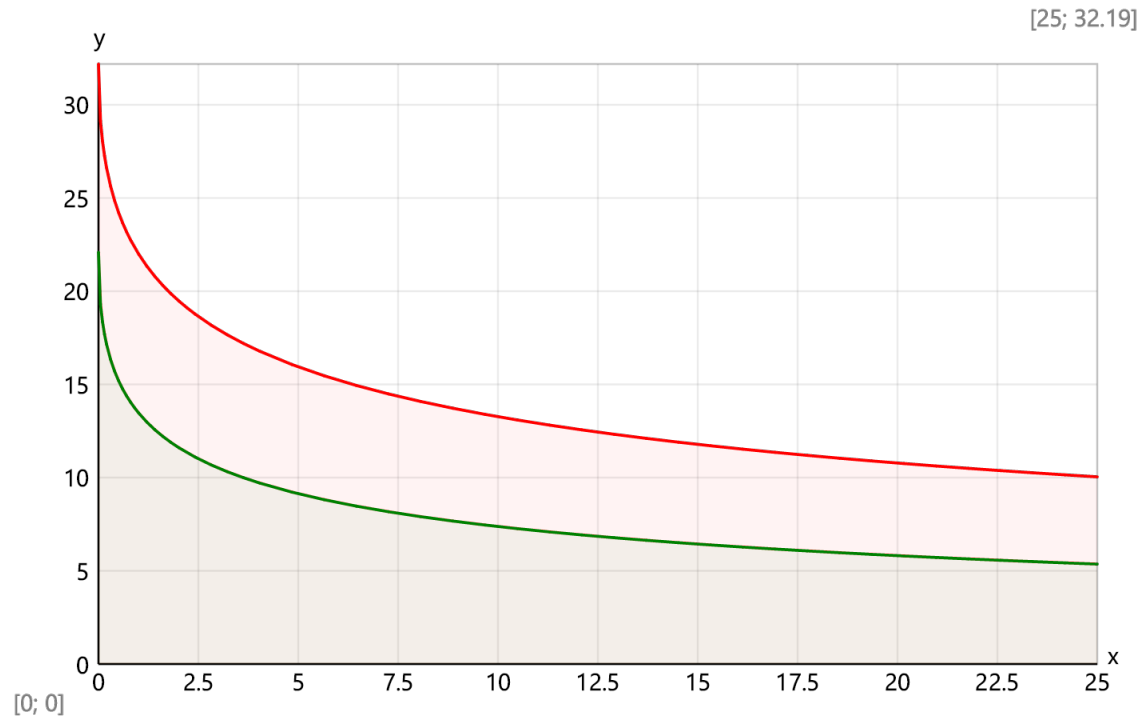
$$\Delta T_{\text{Gw}} = P_{\text{G}} \cdot R_{\text{Gw}} = 26.48 \text{ W} \cdot 0.379 \text{ K/W} = 10.04 \text{ K}$$

$$T_{\text{Gw}} = \Delta T_{\text{Gw}} + T_0 = 10.04 \text{ K} + 298.15 \text{ K} = 35.04 \text{ °C}$$

Best-Case:

$$\Delta T_{\text{Gb}} = P_{\text{G}} \cdot R_{\text{Gb}} = 26.48 \text{ W} \cdot 0.202 \text{ K/W} = 5.36 \text{ K}$$

$$T_{\text{Gb}} = \Delta T_{\text{Gb}} + T_0 = 5.36 \text{ K} + 298.15 \text{ K} = 30.36 \text{ °C}$$



y = Temperaturerhöhung in K, x = p_1

4.2 Überlegungen zum Nutzen eines Schleifkontakts

4.2.1 Erklärung

Ein **Typ-2-Mode-3-Kabel** für 11 kW besteht aus drei Phasen mit je 16 A, einem Neutralleiter, einem Schutzleiter (PE) und einer kleinen Kommunikationsleitung (CP). Die drei Phasen, der Neutralleiter und der PE-Leiter müssen für 16 A ausgelegt sein, während die CP-Leitung für 2 A ausgelegt ist. Zusätzlich ist eine Spannungsfestigkeit von 400 V und mindestens die Schutzart **IP44** erforderlich.

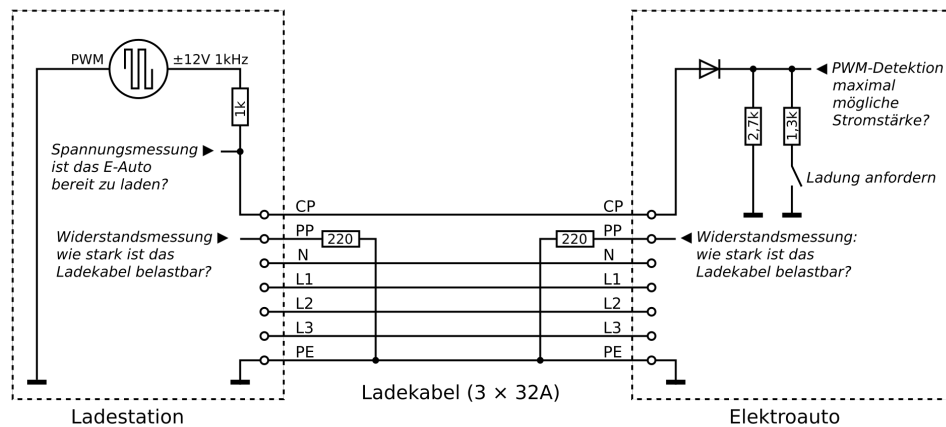


Abbildung 11: Aufbau eines Typ-2-Mode-3-Kabels (Quelle: (Wikipedia 2025))

Um eine kontinuierliche Stromübertragung während des Aufrollens zu ermöglichen, kann ein **Schleifkontakt** verwendet werden, wie er beispielsweise in Staubsaugern zum Einsatz kommt.



Abbildung 12: Schleifkontakt in einem Staubsauger (Quelle: (RotarX 2025))

Alternativ kann eine **Kontaktierung in bestimmten Positionen** durch Federkontaktstifte realisiert werden. Diese Lösung wird im weiteren nicht weiter betrachtet, da sie unter den gleichen Nachteilen wie die Schleifkontaktlösung leidet.

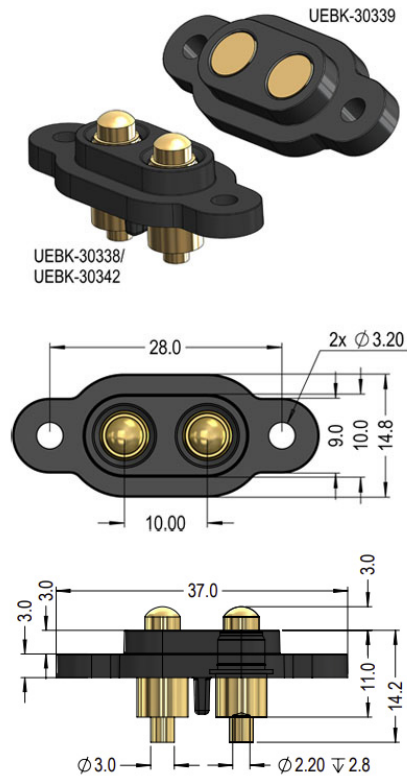


Abbildung 13: Federkontaktstifte (Quelle: (GmbH 2025))

Falls keine Kontaktierung genutzt wird, kann das gesamte Kabel wie bei einer Kabeltrommel rotieren. Allerdings ist in diesem Fall kein Ausrollen im gesteckten Zustand möglich.



Abbildung 14: Kabeltrommel (Quelle: (Brennstuhl 2025))

4.2.2 Vorteile

Die Verwendung eines Schleifkontakts bietet folgende Vorteile:

- **Ausrollen im gesteckten Zustand:** Das Kabel kann auch dann abgerollt werden, wenn es bereits mit dem Fahrzeug verbunden ist.
- **Einfache Gehäusekonstruktion:** Es ist nur eine Einführung für das Kabel erforderlich, der Rest des Gehäuses muss sich nicht drehen.

4.2.3 Nachteile

Allerdings gibt es auch einige Nachteile:

- **Hohe Kosten:** Aufgrund der hohen Anforderungen (16 A, 400 V, IP44) sind geeignete Schleifkontakte sehr teuer. Nach Anfragen bei verschiedenen Herstellern liegen die Kosten bei etwa 400 €, ohne den notwendigen Wasserschutz.
- **Gewicht und Bauraum:** Die Integration eines Schleifkontakts erhöht das Gewicht und das Bauvolumen des Aufrollers.

4.2.4 Endbeschluss

Aufgrund der hohen Kosten und der potenziellen Sicherheitsrisiken durch Korrosion oder Versagen des Wasserschutzes wurde entschieden, auf einen Schleifkontakt zu verzichten. Zudem ist es nicht zwingend erforderlich, dass das Kabel im gesteckten Zustand drehbar ist. Ein mögliches Ausrollen ohne den Aufroller herumzutragen ist zwar komfortabler, jedoch nach ersten Einschätzungen den zusätzlichen Preis in Geld, Gewicht und Bauraum nicht wert.

4.3 Vergleich von Aufrollmechanismen

Bei der Entwicklung des Aufrollmechanismus wurden drei Optionen in Betracht gezogen: Aufrollen per Hand, Aufrollen durch Federkraft und Aufrollen durch Motor. Jede Option hat spezifische Vor- und Nachteile, die im Folgenden erläutert werden.

4.3.1 Aufrollen per Hand

Das Aufrollen per Hand ist eine **Low-Budget-Option**, da keine zusätzlichen Komponenten wie Federn oder Motoren benötigt werden. Dies macht den Mechanismus sehr robust, da weniger Teile ausfallen können. Allerdings ist die Benutzerfreundlichkeit geringer, da der Nutzer das Kabel selbst aufrollen muss. Für einige Nutzer könnte dieser Aufwand unattraktiv sein.

4.3.2 Aufrollen durch Federkraft

Das Aufrollen durch Federkraft ist die derzeitige **Standardlösung** bei fest montierten Kabelaufrollern. Die Feder sorgt für ein automatisches Aufrollen, erschwert jedoch das Ausrollen des Kabels. Dies kann die Produktqualität beeinträchtigen. Ein weiterer Nachteil ist, dass ein losgelassenes Kabel ohne Kontrolle eingezogen wird. Dabei könnte der Stecker durch Peitschen Personen oder Fahrzeuge treffen, was ein Sicherheitsrisiko darstellt.

4.3.3 Aufrollen durch Motor

Das Aufrollen durch einen Motor ist die **teuerste Variante**, da neben dem Motor zusätzliche Komponenten wie ein Netzteil, Batterien, eine Motorsteuerung und Logik erforderlich sind. Der Vorteil dieser Lösung liegt in der größten Freiheit beim Aufrollen. Zusätzlich können weitere Funktionen wie Beleuchtung oder Kommunikation leicht umgesetzt werden, was die Benutzerfreundlichkeit und das Premium-Gefühl erhöht.

4.3.4 Entschluss

Für erste Tests wurde das Aufrollen per Hand gewählt, da es eine kostengünstige und robuste Lösung darstellt. Dieses Konzept wird parallel als **Low-Budget-Variante** weiterverfolgt. Als Ziel wurde jedoch die Umsetzung mit einem Motor festgelegt, da dies besser zu einer **Premium-Lösung** für Audi passt. Durch den Einsatz eines Motors können zusätzliche Funktionen wie Beleuchtung oder Kommunikation einfach integriert werden, was den Mehrwert des Produkts erhöht.

4.4 Position des Aufrollers im gesteckten Zustand

Bei der Entwicklung des Aufrollers war von Anfang an die Idee favorisiert, einen der Stecker fest mit dem Gehäuse zu verbinden und den Aufroller dadurch an der Ladestation hängen zu lassen. Diese Lösung bietet eine hohe Nutzerfreundlichkeit, da der Aufroller nicht auf dem Boden abgelegt werden muss.

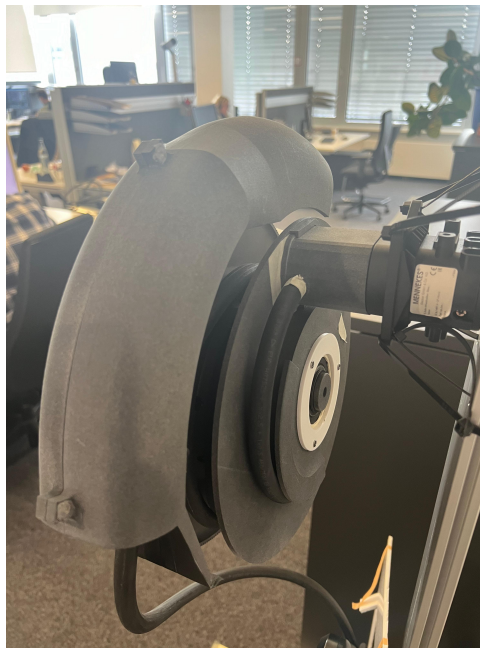


Abbildung 15: Aufroller an der Ladestation (Quelle: Prototyp 10 an Ladestation)

4.4.1 Mechanische Belastung der Ladebuchsen

Ein Problem bei dieser Lösung bestand darin, dass die Ladebuchsen nicht für die mechanischen Belastungen durch das Gewicht des Aufrollers ausgelegt waren. Um dies zu klären, wurden Experten von **Phoenix Contacts** konsultiert. Diese bestätigten, dass die

Stecker für eine Belastung von bis zu 70 kg ausgelegt sind. Dadurch bestand keine Sorge mehr, dass die Ladebuchsen durch das Gewicht des Aufrollers beschädigt werden könnten.

4.4.2 Alternative Lösungen

Es wurden auch alternative Lösungen in Betracht gezogen, wie beispielsweise ein auf dem Boden stehender Aufroller mit einem kurzen Kabel, das vom Boden zur Ladebuchse führt. Diese Lösung hätte jedoch die Nutzerfreundlichkeit beeinträchtigt, da der Aufroller zusätzlich aufgestellt und das kurze Kabel angeschlossen werden müsste. Nach Diskussionen kamen wir zu dem Schluss, dass unsere ursprüngliche Lösung am nutzerfreundlichsten war und führen deswegen damit fort.

4.4.3 Anordnungen des Aufrollers

Es wurden zwei Anordnungen für den Aufroller untersucht (blau bedeutet fest, rot bedeutet drehend):

- **Trommelform:** Diese Anordnung ist vergleichbar mit einer Kabeltrommel, da der feste Stecker an einer der Seitenflächen des Aufrollers angebracht ist.

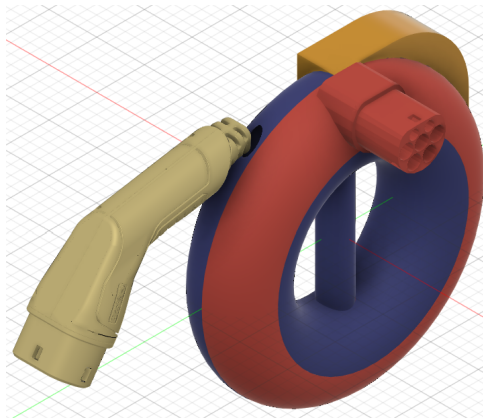


Abbildung 16: Trommelform des Aufrollers (Quelle: Prototyp 3)

- **Schneckenform:** Diese Anordnung ähnelt der Form einer Schnecke.

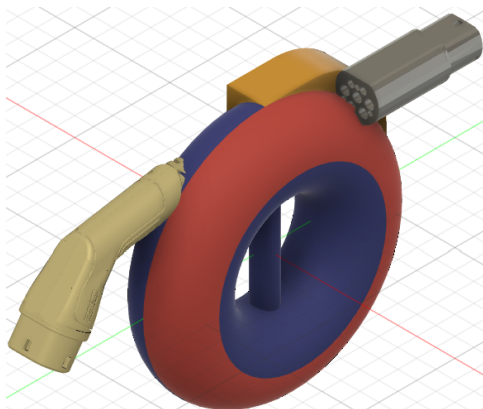


Abbildung 17: Schneckenform des Aufrollers (Quelle: Prototyp 3)

4.4.4 Probleme bei bestimmten Ladestationen

Bei manchen Ladestationen oder Wallboxen können folgende Probleme auftreten:

- **Mehrere Ladebuchsen nebeneinander:** Der Aufroller blockiert entweder andere Nutzer oder wird von diesen blockiert.



Abbildung 18: Mehrere Ladebuchsen nebeneinander (Quelle: eigene Aufnahme)

- **Blockierte Umgebung:** Die Umgebung der Ladebuchse blockiert das Stecken des Aufrollers.



Abbildung 19: Blockierte Umgebung der Ladebuchse (Quelle: eigene Aufnahme)

4.4.5 Überprüfung der Anordnungen

Um die Kompatibilität der beiden Anordnungen zu überprüfen, wurden über 30 Ladestationen untersucht. Dabei zeigte sich, dass die **Schneckenform** bei etwa 80 % der Ladestationen passt, während die **Trommelform** nur bei etwa 70 % kompatibel ist.

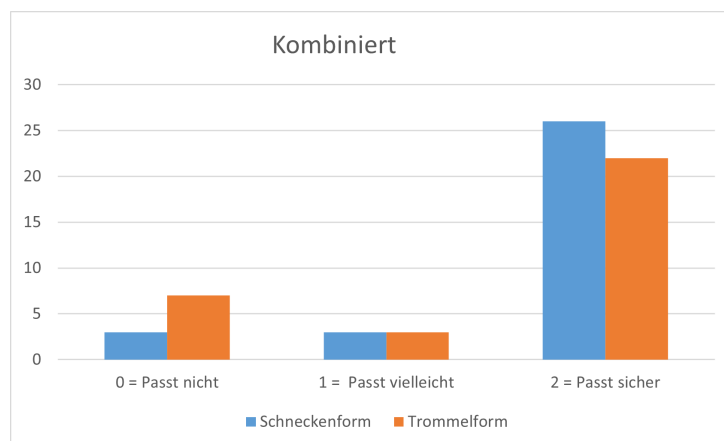


Abbildung 20: Kompatibilität der Anordnungen (Quelle: eigene Auswertung)

4.4.6 Entschluss

Obwohl die Schneckenform eine höhere Kompatibilität aufweist, kamen wir nach weiteren Diskussionen zu dem Schluss, dass der Aufroller bei **100 % aller Ladestationen** passen muss. Daher wurde beschlossen, einen zusätzlichen Mechanismus als **Notlösung** für inkompatible Ladestationen zu entwickeln. Die Entscheidung fiel auf die **Trommelform**, da hier eine Umsetzung ohne Schleifring einfacher ist und für beide Varianten eine Notlösung entworfen werden müsste.

5 Experimentelle Untersuchungen

5.1 Erster Prototyp

Der erste Prototyp basierte auf einem universellen Kabelaufroller, der auf Amazon erworben wurde. Dieser Aufroller wurde in einem ersten Versuch mit einem Ladekabel und Klebeband zu einem funktionsfähigen Prototypen umfunktioniert.



Abbildung 21: Universeller Kabelaufroller von Amazon (Quelle: (Amazon 2025c))



Abbildung 22: Erster Prototyp mit Ladekabel und Klebeband (Quelle: eigene Aufnahme)

5.1.1 Erste Tests

Nach den ersten Tests zeigten sich folgende Ergebnisse:

- Das Steckverhalten des Aufrollers war angenehm, und das Kabel ließ sich gut aufrollen.
- Der Prototyp war jedoch aufgrund des schnellen Aufbaus etwas instabil.

5.1.2 Verbesserungen

Um die Stabilität zu erhöhen, wurden Blechteile entworfen und in die Konstruktion integriert. Zusätzlich wurde die Notlösung getestet und mehrere Einführungen mit einem Außengehäuse ausprobiert.



Abbildung 23: Blechteile zur Stabilisierung des Prototyps (Quelle: eigene Aufnahme)



Abbildung 24: Außengehäuse mit festem Stecker und Notlösung (Quelle: eigene Aufnahme)

5.1.3 Erkenntnisse

Die Tests mit dem ersten Prototypen führten zu folgenden Erkenntnissen:

- Das Aufhängen des Aufrollers an der Ladestation ist sehr nützlich, und das Stecken des Aufrollers ist mit der Trommelform sehr angenehm.
- Das Gewicht des Aufrollers ist in dieser Konfiguration noch angenehm.
- Die Notlösung funktioniert trotz des simplen Aufbaus gut, allerdings hängt der Aufroller dabei undefiniert, was optisch nicht ansprechend ist.
- Das Rollverhalten ist derzeit noch unbefriedigend, was größtenteils auf das Grundgerüst des Amazon-Aufrollers zurückzuführen ist, bei dem großflächig Plastik auf Plastik reibt und schleift.
- Der Aufroller schleift am Gehäuse, wenn das Kabel zu weit aufgerollt ist, da zu wenig Stauraum für das Kabel vorhanden ist.
- Die Einführung funktioniert prinzipiell gut, benötigt jedoch noch Feinjustierungen.
- Das Kabel kann nicht abgerollt werden, ohne an dem Kabel zu ziehen, da es sich sonst an die Innenwand des Gehäuses drückt und verklemmt.

5.2 Zweiter Prototyp

Der zweite Prototyp wurde entwickelt, um die folgenden Probleme des ersten Prototyps zu lösen:

- Verbesserung des Rollverhaltens, da der erste Prototyp zu schwergängig war und manchmal verklemmte.

- Ersetzen des manuellen Aufrollens durch einen Elektromotor im Griff.
- Testen eines Rollenmechanismus, um das Kabel auszuwerfen, sodass nicht unbedingt am Fahrzeugstecker gezogen werden muss.

5.2.1 Aufbau des zweiten Prototyps

Für diesen Prototypen wurde ein 3D-Druck-Modell entworfen, das sich über ein zentrales Lager dreht.

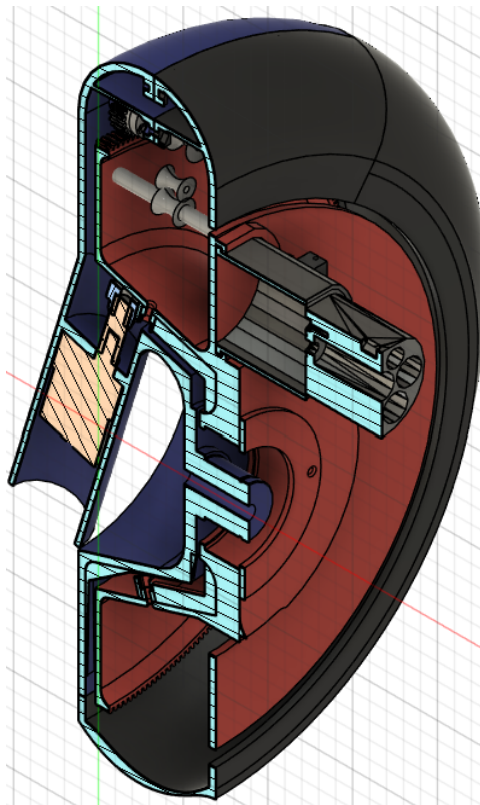


Abbildung 25: 3D-Druck-Modell des zweiten Prototyps (Quelle: eigene Aufnahme)

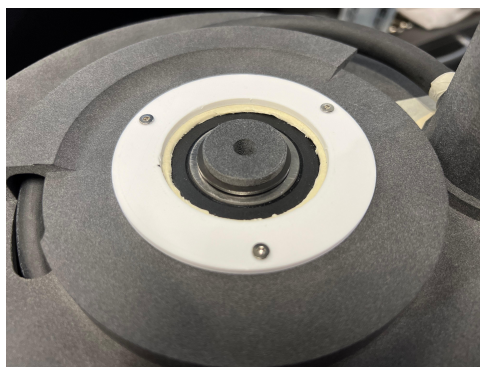


Abbildung 26: Zentrales Lager des zweiten Prototyps (Quelle: eigene Aufnahme)

Um Kontakt zwischen dem drehbaren und festen Teil zu verhindern, wurden kleine Stützlager zwischen den Gehäusen eingeplant.



Abbildung 27: Stützlager zwischen den Gehäusen (Quelle: eigene Aufnahme)

Zum Auswerfen des Kabels wurde ein Rollenmechanismus entwickelt, bei dem das Kabel zwischen zwei kleinen Rollen hinter der Einführung eingespannt wird, um es beim Abrollen „herauszuschieben“.

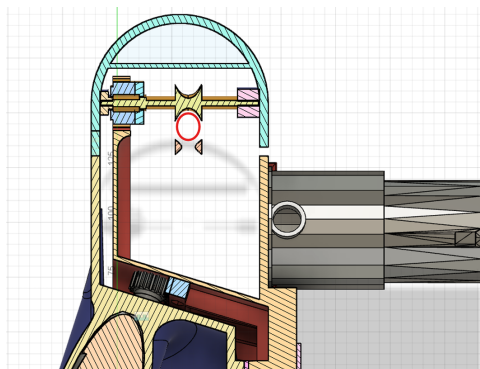


Abbildung 28: Rollenmechanismus zum Auswerfen des Kabels (Quelle: eigene Aufnahme)

Der Elektromotor wurde im Griff positioniert und sollte beim Hochschieben auf einen Zahnkranz am drehbaren Teil treffen. Der Motor wurde vorerst über ein externes Netzteil betrieben.

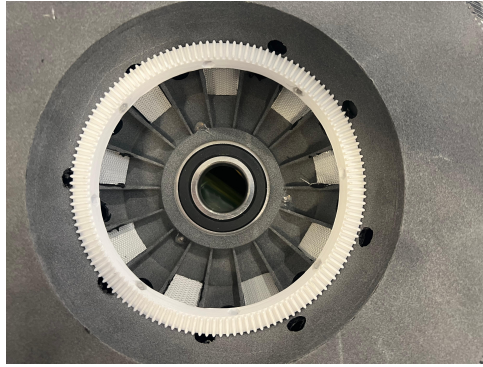


Abbildung 29: Zahnkranz im drehbaren Gehäuse (Quelle: eigene Aufnahme)

5.2.2 Erkenntnisse

Die Tests mit dem zweiten Prototypen führten zu folgenden Erkenntnissen:

- Der Aufroller war sehr laut, was auf die Verzahnung und die Klangkörperform des Aufrollers zurückzuführen war. Um dies zu verbessern, wurden Löcher in den drehbaren Teil gebohrt und schwingungsdämpfendes Tape angebracht.



Abbildung 30: Löcher im drehbaren Teil zur Lärmreduzierung (Quelle: eigene Aufnahme)

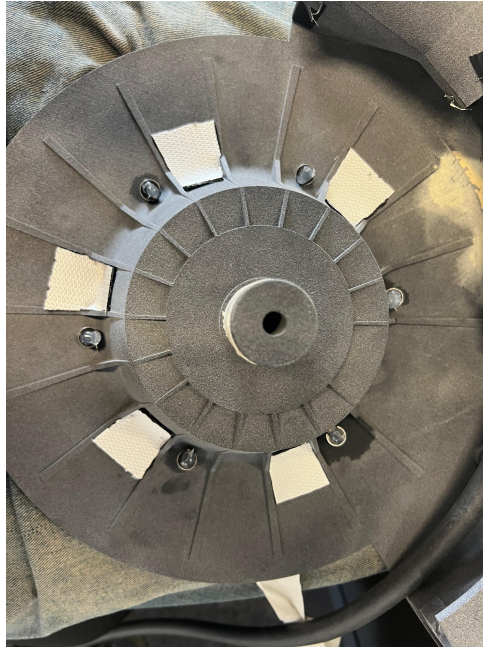


Abbildung 31: Schwingungsdämpfendes Tape (Quelle: eigene Aufnahme)

- Das Aufrollverhalten wurde zu gut, sodass sich das Kabel von alleine abrollte, sobald es in Bewegung war.
- Der Rollenmechanismus wurde durch das gute Aufrollverhalten unnötig und war aufgrund des großen Aufwands und der Feinmechanik wahrscheinlich ohnehin unpraktikabel.
- Im Vergleich zum ersten Prototyp hatte das Kabel zu viel Platz, wodurch der Aufroller größer und klobiger war als notwendig.
- Aufgrund der klobigen Form und des weit vom Schwerpunkt entfernten Griffs war der Aufroller schwer handhabbar.
- Die Notlösung war nicht sicher verstaut und musste verbessert werden.

5.3 Dritter Prototyp

Der dritte und letzte Prototyp wurde entwickelt, um folgende Ziele zu erreichen:

- Einen optisch ansprechenden Prototypen zum Vorzeigen und für Werbevideos.
- Verringerung von Gewicht und Größe.
- Integration der notwendigen Elektronik für den Vorzeigebetrieb, einschließlich Motor, Batterien, Motorsteuerung, Taster, Selbstausrichtungsmechanismus und Lichtinszenierung.
- Verbesserte Akustik.
- Einrastmechanismus für den festen Stecker und für die obere Position.

5.3.1 Aufbau des dritten Prototyps

Für diesen Prototypen wurde ein neues Modell entworfen, das funktional dem zweiten Prototypen ähnelte, jedoch in mehreren Aspekten optimiert wurde:

- Das zentrale Lager und die Stützlager wurden verkleinert, um Platz und Gewicht zu sparen.
- Der Kabelstauraum wurde auf die notwendige Größe reduziert.
- Die Gehäusedicke wurde optimiert, um Gewicht zu sparen.
- Das Material wurde von PA11 auf PA12 gewechselt, um steifere Modelle zu erhalten.

5.3.2 Einrastmechanismen

Für die Einrastmechanismen wurde eine modulare Bauweise gewählt, um verschiedene Stärken testen zu können:

- **Einrastmechanismus für den festen Stecker:** Hier wurde eine durch Federstahl gefederte Kugel verwendet, die an der Unterseite des Steckers einrastet. Die Stärke des Einrastens kann durch verschiedene Löcher angepasst werden.

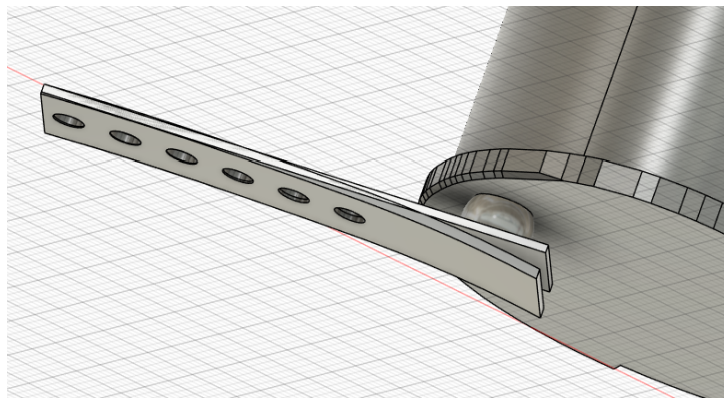


Abbildung 32: Einrastmechanismus für den festen Stecker (Quelle: eigene Aufnahme)

- **Einrastmechanismus für die Nullposition:** Zwei mögliche Mechanismen wurden entworfen:
 - **Mechanismus 1:** Ein Federstahlstab drückt ein Kugellager gegen das drehbare Gehäuse, das an der richtigen Stelle eine Mulde hat, in der das Kugellager einrasten kann.

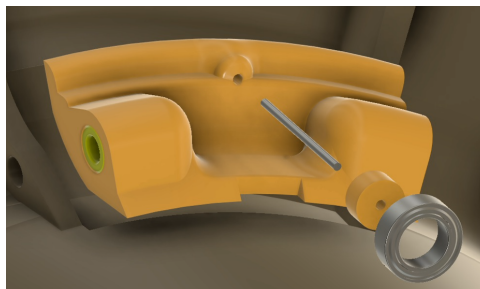


Abbildung 33: Einrastmechanismus mit Federstahlstab (Quelle: eigene Aufnahme)

- **Mechanismus 2:** Eine Schenkelfeder drückt das Kugellager in die Mulde.

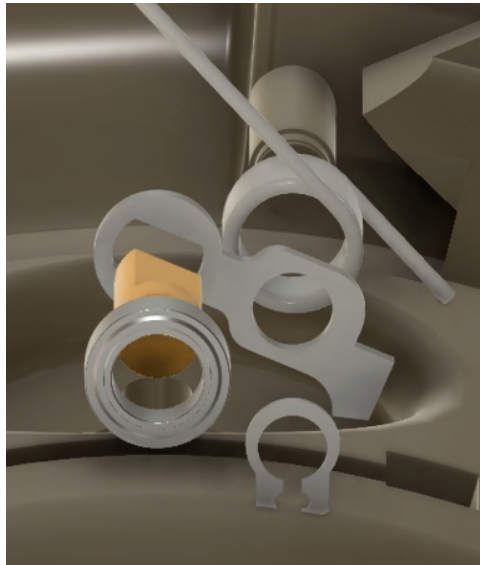


Abbildung 34: Einrastmechanismus mit Schenkelfeder (Quelle: eigene Aufnahme)

5.3.3 Elektronik und Design

Die Elektronik wurde im Griff untergebracht, wobei der Motor, Taster und die Lichtinszenierung auf einem Schlitten montiert wurden, der den Griff hochschiebt.



Abbildung 35: Elektronik im Griff (Quelle: eigene Aufnahme)

Für das Design wurden von unserem Designer Designflächen angefertigt, die nach dem Fertigstellen des technischen Modells integriert wurden.

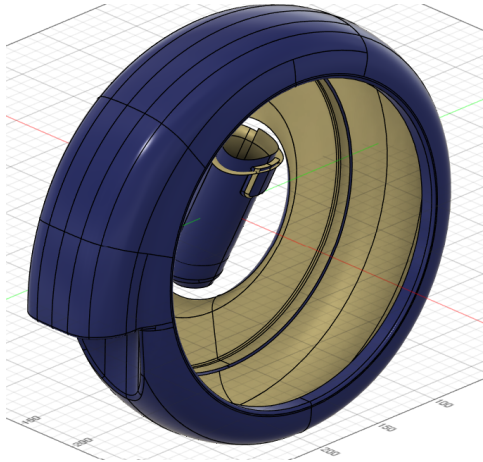


Abbildung 36: Designflächen für den Prototypen (Quelle: eigene Aufnahme)

Ein Deckel wurde für die Vorderseite des drehbaren Gehäuses entworfen, um die technischen Elemente zu verstecken.

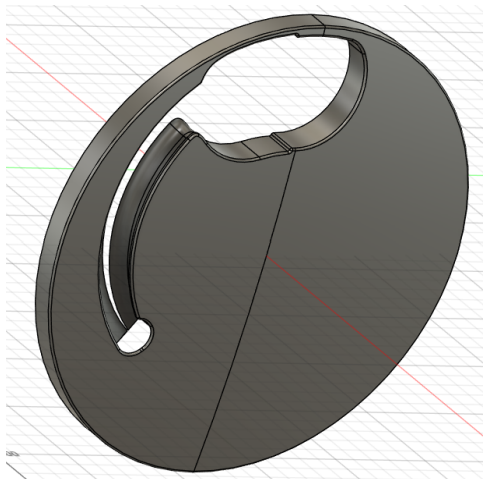


Abbildung 37: Deckel für das drehbare Gehäuse (Quelle: eigene Aufnahme)

5.3.4 Verbesserte Verzahnung

Für eine sicherere Verzahnung wurde von Modul 1 auf Modul 2 gewechselt und die Verzahnungsgeometrie optimiert.

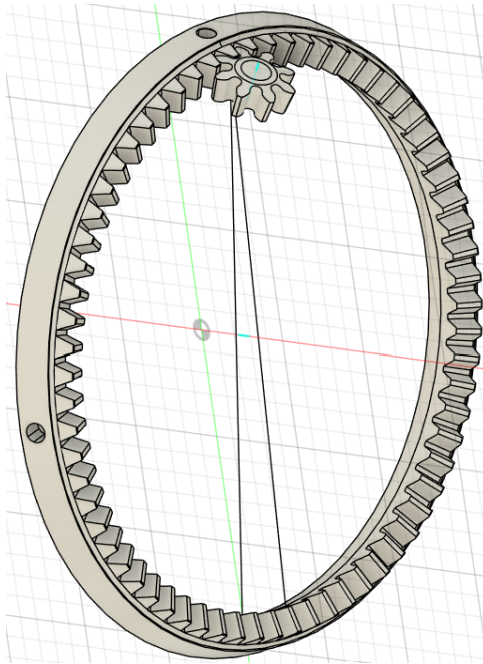


Abbildung 38: Verbesserte Verzahnung (Quelle: eigene Aufnahme)

5.3.5 Griffoptimierung

Der Griff wurde näher am Schwerpunkt platziert und dünner gestaltet, um die Handhabung zu verbessern.

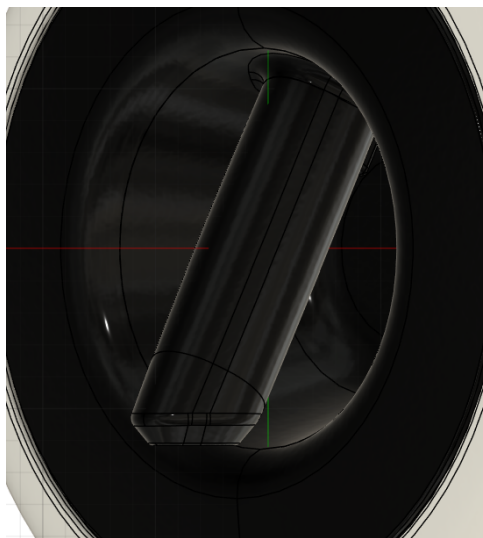


Abbildung 39: Optimierter Griff (Quelle: eigene Aufnahme)

5.3.6 Erkenntnisse

Die Tests mit dem dritten Prototypen führten zu folgenden Erkenntnissen:

- Durch das optimierte Gewicht und die verringerte Größe war die Handhabung deutlich angenehmer.
- Das Design wurde durch die bombierten Flächen optisch ansprechender.

- Die Elektronik im Griff funktionierte gut, und die Lichtinszenierung war effektiv.
- Der Einrastmechanismus für den festen Stecker war sehr angenehm, jedoch hatte die Notlösung im Deckel nicht genug Platz, was das Lösen und Bewegen des Steckers erschwerte.
- Die Einrastmechanismen für die Nullposition waren zu schwach, insbesondere da der ausgewählte Motor ein starkes Anfahrmoment benötigte, wodurch die Drehbewegung gegen ungewollte Belastungen blockiert war.
- Die Akustik musste erneut durch Tape verbessert werden. Ein Material- und Verfahrenswechsel könnte hier weitere Verbesserungen bringen.

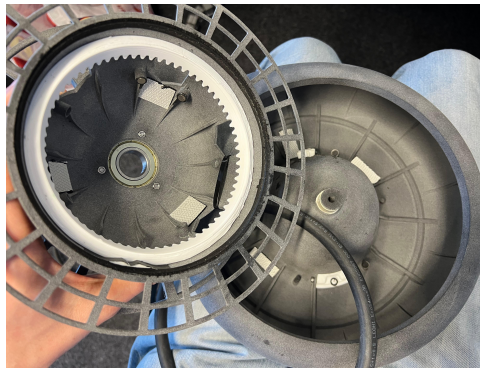


Abbildung 40: Vollständiger Prototyp (Quelle: eigene Aufnahme)



Abbildung 41: Vollständiger Prototyp (Quelle: eigene Aufnahme)

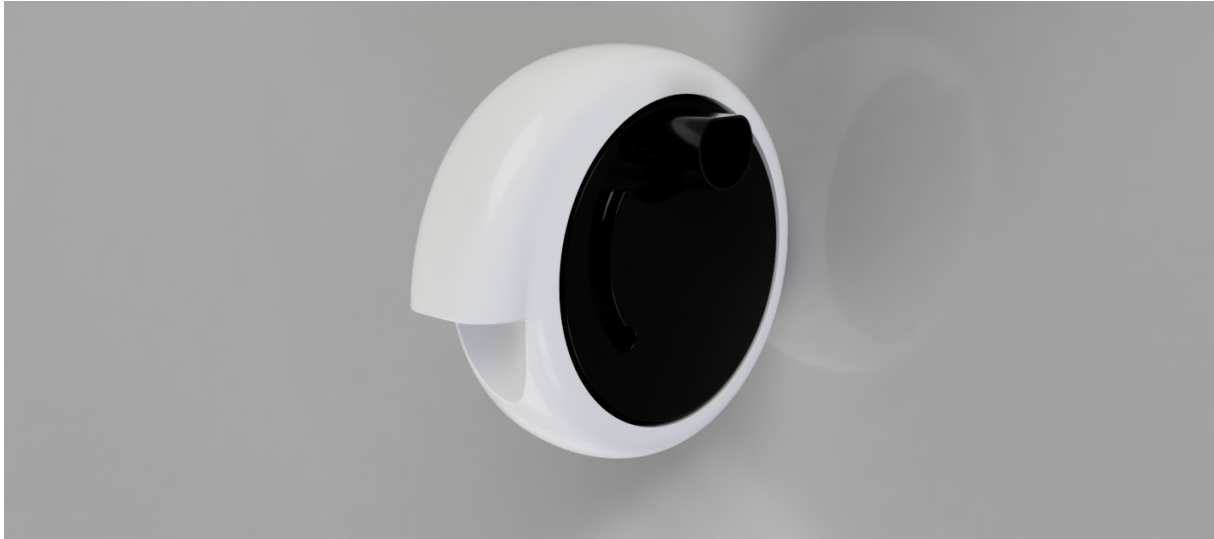


Abbildung 42: Vollständiger Prototyp (Quelle: eigene Aufnahme)

6 Gesamtzusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklung eines innovativen Mode-3-Kabels für das mobile Laden von Elektrofahrzeugen am Straßenrand war das zentrale Thema dieses Praktikums. Im Laufe des Projekts wurden drei Prototypen entwickelt, die jeweils auf den Erkenntnissen der vorherigen Versionen aufbauten. Der erste Prototyp diente als Proof of Concept, während der zweite Prototyp bereits eine elektrische Aufrollfunktion und verbesserte Handhabung bot. Der dritte und finale Prototyp kombinierte schließlich ein ansprechendes Design mit funktionalen Einrastmechanismen, einer verbesserten Akustik und einer effektiven Lichtinszenierung. Die Ergebnisse zeigen, dass die entwickelte Lösung das Potenzial hat, die Nutzerfreundlichkeit von Elektrofahrzeugen erheblich zu steigern und einen Beitrag zur nachhaltigen Mobilität zu leisten.

6.1 Weiteres Vorgehen

Um das Produkt zur Serienreife zu bringen, sind noch weitere Schritte erforderlich:

- **Weitere Features testen:** Es müssen zusätzliche Funktionen wie ein Abklappmechanismus für den festen Stecker, eine Temperaturüberwachung und ein Einführlicht implementiert und getestet werden. Diese Features sollen die Benutzerfreundlichkeit weiter erhöhen und die Sicherheit des Produkts gewährleisten.
- **Entscheider überzeugen:** Die nächste Herausforderung besteht darin, die Entscheidungsträger von der Marktfähigkeit und dem Mehrwert des Produkts zu überzeugen. Dafür werden die entwickelten Prototypen, die umfangreiche Dokumentation und die gesammelten Testdaten präsentiert.
- **Serienentwicklung anstoßen:** Sobald die Entscheidung für die Weiterentwicklung gefallen ist, muss das Projekt an einen Lieferanten übergeben werden, der die Serienentwicklung übernimmt. Dafür wurde bereits eine detaillierte Dokumentation mit einer Stückliste (BOM) erstellt, die alle wichtigen Komponenten und Entwicklungsschritte hervorhebt.

Die während des Praktikums gesammelten Erkenntnisse und die entwickelten Prototypen bilden eine solide Grundlage für die weitere Produktentwicklung. Mit der Umsetzung der geplanten Features und der erfolgreichen Übergabe an einen Lieferanten kann das innovative Mode-3-Kabel einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge leisten.

Literatur

- AG, Volkswagen (2025). *Laderoboter am Stromnetz*. URL: <https://shorturl.at/66SaJ>.
- Amazon (2025a). *Normales Mode-3-Kabel*. URL: <https://shorturl.at/jABh3>.
- (2025b). *Spiralkabel*. URL: <https://shorturl.at/gheRo>.
- (2025c). *Universeller Kabelaufroller*. URL: <https://shorturl.at/9l1iY>.
- Brennstuhl (2025). *Kabeltrommel*. URL: <https://shorturl.at/yfyNW>.
- EasyLoop (2025). *Mobiler Aufroller mit Torsionsfeder*. URL: <https://easyloop.it/>.
- ENBW (2025a). *Autoseitiger Stecker auf Ladeplatte*. URL: <https://shorturl.at/IBIKY>.
- (2025b). *Induktives Laden*. URL: <https://shorturl.at/R9wid>.
- GmbH, uwe electronic (2025). *Federkontaktstifte*. URL: <https://shorturl.at/SEe17>.
- Graz, TU (2025). *Laderoboter am Stromnetz*. URL: <https://shorturl.at/lhcAq>.
- LappMobility (2025). *Selbst ordnendes Mode-3-Kabel*. URL: <https://shorturl.at/Ae0ma>.
- Reichelt (2025). *Mobiler Aufroller mit Handaufrollen*. URL: <https://shorturl.at/1uo6D>.
- RotarX (2025). *Schleifkontakt in einem Staubsauger*. URL: <https://shorturl.at/tkcB0>.
- Voitas (2025). *Stationärer Aufroller mit Torsionsfeder*. URL: <https://shorturl.at/nb8wb>.
- Wikipedia (2025). *Aufbau eines Typ-2-Mode-3-Kabels*. URL: <https://shorturl.at/VJqdD>.